

Поступила в редколлегию 22.01.07

А.В. МАРТЫНЕНКО, А.В. ТКАЧУК, канд. техн. наук,
А.А. ЗАРУБИНА, канд. техн. наук, **Л.Н. БОНДАРЕНКО**, НТУ „ХПИ”

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА НАПРЯЖЕНО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ГИДРОПЕРЕДАЧИ ГОП-900

У статті пропонуються результати дослідження контактної взаємодії поршня та втулки гідроциліндру, а також за розшифрованих голограм, отриманих експериментальним методом голографічної інтерферометрії. Зроблені висновки і намічені подальші напрями досліджень.

Contact interaction results between piston and hob of hydro-volumetric pump are given in the article. Holograms taken with the experimental method of holographic interferometry are interpreted. Conclusions are done and further directions of research are set.

Введение. В настоящее время все более целесообразным является проведение всесторонних исследований механического объекта перед его непосредственным запуском в производство и, тем более, перед началом эксплуатации. Данная статья рассматривает вопрос комплексных исследований гидрообъемной передачи ГОП-900, созданной специалистами и учеными города Харькова [1] для усовершенствований трансмиссии гусеничных транспортных средств специального назначения.

1. Методика исследований напряженно-деформированного состояния ГОП. Известно, что дальнейшее развитие промышленного производства невозможно без применения современных компьютерных технологий. Однако выпускаемые для проектирования и анализа машиностроительных конструкций программные продукты, как правило, многодисциплинарны, что существенно усложняет интерфейс, и, соответственно, требуют значительных усилий и много времени для освоения. Как правило, у высококлассных специалистов-механиков время на углубленное изучение продукта и его особенностей значительно ограничено, поэтому предлагается создать узкоспециализированное „приложение-интерфейс” [2] (рис. 1). Это даст следующие преимущества:

- незначительное время обучения перед использованием;
- возможность внесения в программный продукт функций, необходимых именно данному конкретному специалисту;
- значительное ускорение процесса ввода исходных данных и анализа результатов, вплоть до автоматической их генерации.

Также данная система должна содержать математический модуль, содержащий в себе полную математическую модель исследуемого объекта. Данный модуль служит непосредственным источником исходных данных для проведения исследований при невозможности проведения и дороговизне экспериментальных исследований [3, 4].

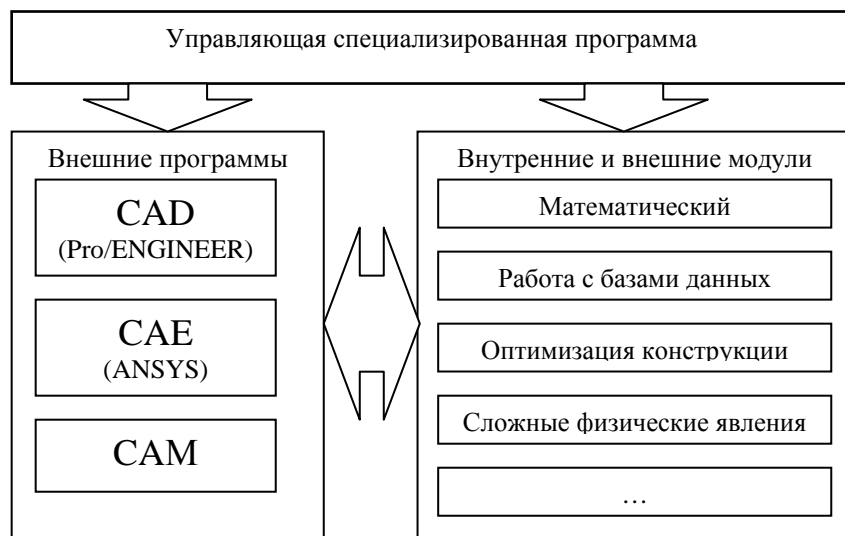


Рис. 1. Общая схема специализированной исследовательской системы

В предыдущих публикациях на данную тему [5, 6] подробно рассматривался вопрос обоснования применения обобщенного параметрического подхода применительно к исследованию гидрообъемной передачи (ГОП). Рассмотрим подробнее основные проведенные исследования и их результаты.

2. Анализ проведенных исследований. Подробное описание исследуемого объекта с техническими характеристиками и результатами тестовых испытаний рабочего образца можно ознакомиться в публикациях [7,8]. По результатам испытаний были сделаны выводы о перспективности данного направления и вынесено предложение о создании целой серии гидропередач, что подтверждает правильность выбранного направления исследований и необходимость создания расчетного комплекса. В будущем его функциональность необходимо расширить, включив междисциплинарные расчеты (например, учет гидродинамических явлений) и подключив базу данных, в которой бы содержались сведения о тактико-технических характеристиках (ТТХ) и эксплуатационных характеристиках конкурирующих изделий, как для сравнения, так и с целью проведения оптимизации по требуемым параметрам [9].

В статье [10] были проведены численные исследования ротора ГОП методом конечных элементов, сделаны первоначальные выводы, которые в последующем подтвердились экспериментально, и даны рекомендации по проведению дальнейших исследований.

В статье [4] обоснован математический аппарат и создан модуль математического моделирования динамического взаимодействия поршня с ротором

и статором. Поскольку при скольжении поршня по статору и ротору теряется энергия, выделяется тепло и идет износ деталей, был подробно исследован вопрос нахождения области параметров, при которых возможно скольжение. Также исследовано напряженно-деформированного состояния (НДС) корпуса ГОП при изменении длины нагруженного участка цилиндров.

В статье [5] были исследованы вопросы зависимости НДС корпуса ГОП от конструктивных факторов: материала втулки, величины предварительного натяга втулки и скорости вращения ротора.

Для подтверждения численных исследований необходимо проведение эксперимента. Ввиду целого ряда преимуществ был выбран метод голографической интерферометрии в сочетании со спекл-интерферометрией. Подробное обоснование выбора данного метода приведено в [11]. Некоторые результаты проведенных экспериментов были представлены в [6]. На рис. 2 и 3 изображены рабочие моменты подготовки к дополнительным экспериментальным исследованиям и сама исследуемая масштабная модель одного цилиндра ГОП, выполненная из низко модульного материала.

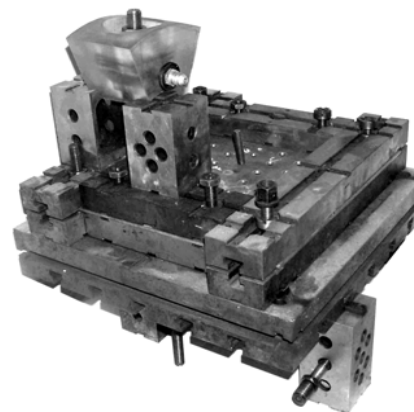


Рис. 2. Рабочие моменты подготовки эксперимента

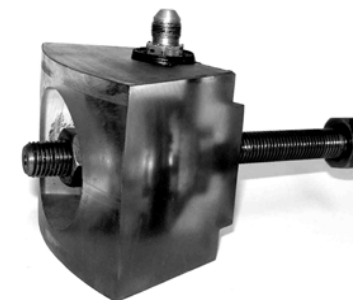


Рис. 3. Исследуемая масштабная модель

Кроме того, для дальнейшей успешной эксплуатации ГОП жизненно важным является создание методики диагностики как возникших, так и предсказания возможных дефектов. Большая работа в этой области проведена в частности, исследователями кафедры КГМ НТУ „ХПИ” [12]. Разработанный и апробированный ими метод исследования динамических процессов позволяет на этапе визуализации сеанса индицирования производить предварительный диагностический экспресс-анализ состояния узлов и агрегатов ГОП, а по результатам математической обработки – получать объективные данные этого состояния.

Проанализировав эти работы, можно прийти к заключению, что пред-

варительные расчеты и экспериментальные исследования охватывают практически все возможные варианты нагружения, возникающие при работе ГОП. Поэтому в дальнейшем целесообразно усложнение расчетной модели, что даст более точные данные, позволяющие производить оптимизацию передачи по необходимым критериям. Именно с этой целью был дописан модуль, осуществляющий расчет и анализ контактного взаимодействия „поршень-ротор”.

3. Влияние контактного взаимодействия „поршень-втулка” ротора на напряженно-деформированное состояние ГОП. Модуль решает задачу контактного взаимодействия поршня и втулки ротора гидрообъемной передачи. Он позволяет задавать различные комбинации параметров, вносит изменения в командные файлы и запускает необходимые приложения по требованию пользователя. При этом твердотельная трехмерная модель-сборка строится в Pro/ENGINEER, а разбивка на конечные элементы, задание материалов деталей, граничных условий и нагрузок и решение выполняется в комплексе ANSYS.

Внешний вид диалоговых окон программы для задания различных параметров модели и нагружения, приведен на рис. 4, а-г.

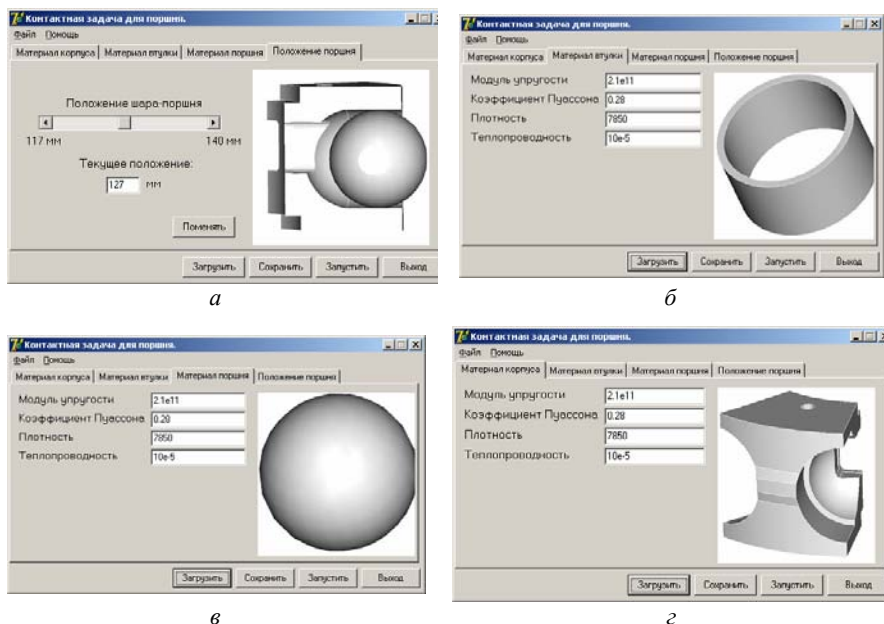


Рисунок 4 –Внешний вид окон программы на различных закладках:
а – „Положение поршня”; б – „Материал втулки”; в – „Материал поршня”; г – „Материал корпуса”

После задания всех исходных данных программа в автоматическом ре-

жиме запускает CAD и CAE системы, после отработки которых получается трехмерная модель, приведенная на рис. 5, и конечно-элементная модель, приведенная на рис. 6.

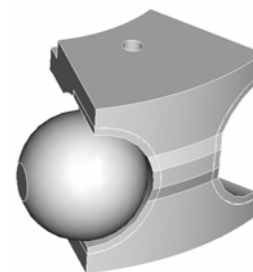


Рис. 5. Твердотельная модель для контактного анализа

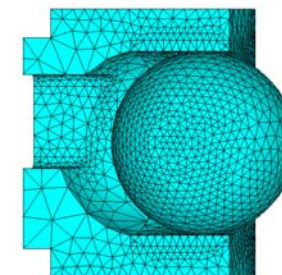


Рис. 6. Конечно-элементная модель для контактного анализа

При решении задачи использовалась модель контактного взаимодействия типа поверхность – поверхность, принцип создания которого на конечно-элементной модели приведен на рис. 7. В этом случае взаимодействия трехмерных тел используется метод создания дополнительных контактных элементов на поверхности предварительно разбитой модели. При этом эти элементы образуют так называемую „контактную пару” („contact-target”), когда контактные элементы на поверхности одного тела обозначаются как „contact”, а на поверхности другого – как „target”. Использовались конечные элементы типа CONTA174 и TARGE170, совместное взаимодействие которых изображено на рис. 8.

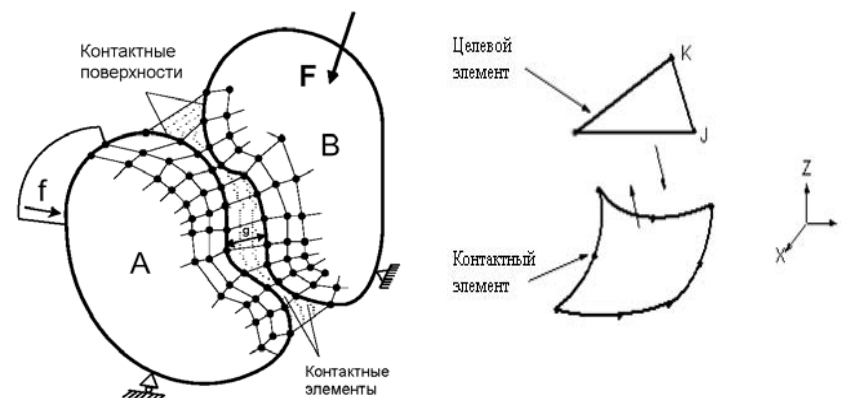


Рис. 7. Принцип формулировки условий контакта тел в ANSYS

Рис. 8. Схема контактного взаимодействия элементов CONTA174 и TARGE170

Решение полученных уравнений контактной задачи можно производить

различными численными методами, но наибольшее распространение получили итерационный метод Ньютона-Рафсона с использованием штрафных функций или модифицированного метода Лагранжа. Цель итерационного процесса – получить реальную зону контакта.

По результатам исследований контактного взаимодействия можно сделать следующие выводы:

- качественного изменения картины напряженно-деформированного состояния при учете контактного взаимодействия не происходит, а величина напряжений растет на 15-20 %.
- по мере удаления поршня от оси вращения общий вклад контактных напряжений в НДС и их численные значения падают.

Кроме проведения дополнительных исследований, была произведена расшифровка экспериментальных голограмм. Рассмотрим подробнее процесс расшифровки.

4. Расшифровка экспериментальных голограмм. Подробное описание процесса проведения экспериментальных исследований можно найти в [5,6]. Сам процесс расшифровки состоит в следующем: на полученную экспериментально интерференционную картину исследуемой поверхности модели фрагмента КГН ГОП-900 (рис. 9) наносят локальную систему криволинейных координат $O\alpha_1\alpha_2$ (рис. 9 и 10), в данном случае с сеткой 15x20.

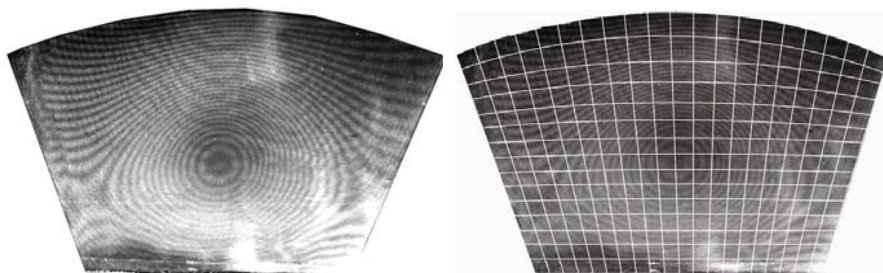


Рис. 9. Интерферограмма и наложенная на нее сетка для проведения расшифровки экспериментальных данных

Далее по нанесенной сетке восстанавливается картины распределения относительных перемещений $u = w/|w_{\max}|$, которая приведена на рис. 11. Анализ приведенных результатов с учетом полученных численно (рис. 12) свидетельствует о полном качественном совпадении распределений и удовлетворительным их количественном соответствии. Действительно, обнаруженные в ходе экспериментов, казалось бы, парадоксальные особенности деформирования исследуемой поверхности совпадают с полученными численно (рис. 12, приведен контур недеформированной модели) и обусловлены, в ос-

новном, характером используемых граничных условий.

Данный метод хорошо поддается автоматизации путем произведения векторизации полученных интерферограмм, поэтому целесообразно написание специализированной программы, облегчающей работу с серией интерферограмм, полученных в ходе проведения экспериментальных исследований.

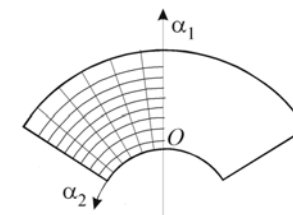


Рис. 10. Криволинейная система координат

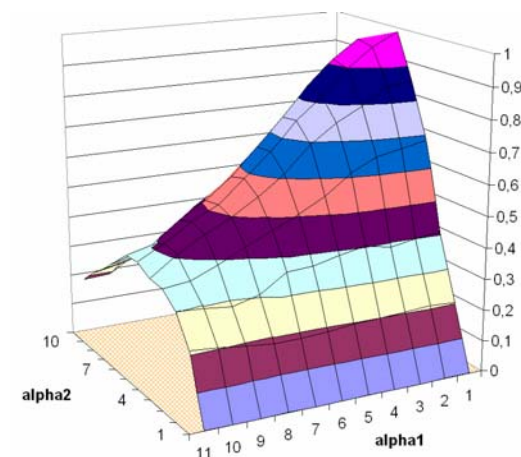


Рис. 11. Картина распределений относительных перемещений модели

5. Выводы. Таким образом, проведенные исследования подтверждают правильность выбранного направления в исследовании напряженно-деформированного состояния ГОП.

Дальнейший путь – учет сложных физических эффектов и явлений, что невозможно без использования компьютерных инженерно-исследовательских комплексов. Также целесообразно дальнейшее развитие прикладной программы, облегчающей работу специалиста-исследователя.

Рекомендуется включить в нее дополнительные интегрированные модули математического моделирования, гидродинамического анализа и подключаемой базы данных по актуальным техническим разработкам конкурентов, для проведения оптимизации и оценки актуальности и конкурентоспособности.

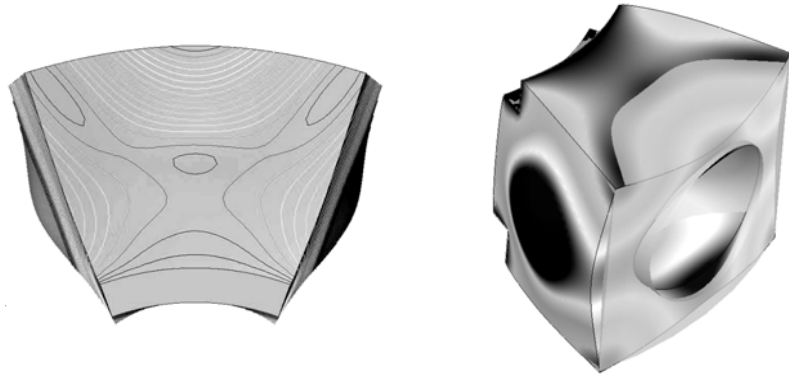


Рис. 12. Результаты численных исследований:

а – распределение перемещений; *б* – общий вид деформированной модели

Список литературы: 1. Аврунин Г.А., Кабаненко И.В., Хавиль В.В. Объемная гидropередача с шариковыми поршнями ГОП-900: характеристики и технический уровень // *Механіка та машинобудування*, 2004. – №1. – С.14-22. 2. Ткачук Н.А. Расчетно-экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния элементов сложных механических систем // *Вісник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск „Динамика и прочность машин”*, 2002. – №10. – С.126-132. 3. Самородов В.Б. Общая постановка параметрического синтеза гидрообъемно-механических трансмиссий. // *Механіка та машинобудування*. – 2000. – №1,2. – С.144-151. 4. Ткачук А.В., Ткачук Н.Н. Математическое моделирование динамических процессов и напряженно-деформированного состояния элементов гидрообъемной передачи // *Вісник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск ““Колісні і гусеничні машини спеціального призначення””* – Харків: НТУ “ХПИ”, 2003. – № 28. – С.9-19. 5. Ткачук А.В., Васильев А.Ю., Мартыненко А.В. и др. Влияние конструктивных факторов на напряженно-деформированное состояние корпусов гидрообъемных передач // *Механіка та машинобудування*, 2004. – №1. – С.78-85. 6. Мартыненко А.В., Ткачук А.В., Зарубина А.А., Васильев А.Ю. Расчетно-экспериментальное исследование элементов гидрообъемных передач // *Вісник НТУ "ХПИ" Тематический выпуск “Динамика и прочность машин”*. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2005. – № 47. – С.99-107. 7. Гриценко Г.Д., Малакей А.Н., Миргородский Ю.Я., Ткачук А.В., Ткачук Н.А. Интегрированные методы исследования прочностных, жесткостных и динамических характеристик элементов сложных механических систем // *Механіка та машинобудування*. – 2002. – №1. – С.6-13. 8. Аврунин Г.А. Выбор параметров насоса подпитки объемной гидropередачи // *Механіка та машинобудування*, 2004. – №1. – С.3-9. 9. Аврунин Г.А., Белый О.И., Кабаненко И.В. и др. Экспериментальные исследования потерь мощности в современных аксиально-поршневых гидромашинах для мобильной техники // *Механіка та машинобудування*, 2006. – №1. – С.80-87. 10. Ткачук А.В. Влияние эксплуатационных нагрузок на напряженно-деформированное состояние корпуса гидронасоса ГОП. // *Вісник НТУ "ХПИ"*. – 2001. – № 7. – С.239-242. 11. Мартыненко А.В. Применение экспериментальных голографических методов при исследовании элементов гидрообъемных передач // *Вісник НТУ "ХПИ" Тематический выпуск “Машиноведение и САПР”*, 2006. – № 3. – С.117-133. 12. Ярмак Н.С. Исследование динамических процессов гидромашин объемного типа, диагностика и идентификация дефектов // *Механіка та машинобудування*. – 2004. – №1. – С.35-46.

Поступила в редколлегию 21.01.2007

УДК 623.4.047

Н.Г. МЕДВЕДЕВ, канд. техн. наук, **В.И. СЕРИКОВ**, канд. техн. наук, **Р.В. ПРОТАСОВ**, студент, НТУ „ХПИ”

АНАЛИЗ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕХАНИЗМА ПУТЕМ СРАВНЕНИЯ С КОСВЕННЫМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

У статті обґрунтований і описаний метод оцінки кінематичних параметрів механізму за допомогою непрямих даних, які отримані в ході проведення низки експериментів. Доведено, що такий підхід має малу похибку через прогнозованість похибки вимірального ланцюга.

In the article method of mechanism kinematics parameters estimation is grounded and described using experimental substituted data. It is proved that such approach has a small error in connection with a prediction of measuring chain error.

Постановка проблемы. В практике проведения научных исследований приходится прибегать к анализу тех или иных процессов, происходящих в исследуемом объекте, с помощью косвенных показателей [1-4]. Такой подход может быть обусловлен:

- техническими причинами (малые объемы для установки регистрирующих приборов значительных габаритов, несовершенная элементная база и т.п.);
- организационными условиями (соотношение между затратами и планируемым эффектом требует упростить проведение эксперимента).

В связи с этим актуальной является оценка возможности применения анализа его погрешности с помощью косвенных показателей в тех или иных условиях.

Формулирование цели. При проведении экспериментов с целью анализа адекватности математической модели механизма реальному объекту проводились измерения параметров его привода. Однако математическая модель исследуемого объекта в качестве выходных параметров имеет параметры движения. В связи с этим необходимо оценить возможность использования экспериментальных данных, представленных в виде косвенной информации, для анализа кинематики и динамики исследуемого механизма.

Математическая модель. Расчетная схема исследуемого механизма показана на рис.1. Он представляет собой незамкнутый двухзвенник, состоящий из рычага сложной формы, шарнирно соединенного с лотком для груза. Механизм совершает движение вниз с грузом и вверх без груза, причем величина рабочего хода зависит от позиции, занимаемой следующим элементом технологической цепочки.

Несмотря на принципиальные отличия в конструкции механических частей, механизмы такого вида при построении математической модели целесообразно привести к одномассовой системе, вращательное движение кото-